

〔原 著〕

サッカーのインサイドキックにおける高さの 蹴り分けに関するバイオメカニクス的研究

房野 真也¹・甲田 大二²・丸山 啓史³・森木 吾郎¹

白石 智也¹・若井 研治⁴・吉野 憲司⁵

Biomechanical study of side-foot kicking techniques for kicking the ball low and middle

Shinya BONO, Taiji KODA, Keishi MARUYAMA, Goro MORIKI,

Tomoya SHIRAISHI, Kenji WAKAI, Kenji YOSHINO

Abstract

The purpose of this study was to investigate the important technical points of side-foot kicks in soccer required to kick it high or low. The subjects were 14 male university soccer players. They performed side-foot kicks to hit targets placed seven meters away from them. The targets (60 cm long and 90 cm wide) were 0.4 (low) and 1.1 (middle) meters above the ground. An optical motion capture system was used to record their performance.

When the subjects kick the ball to the high target, the characteristics of their kicking motions were as follows:

1. The ball launching angle was large.
2. The kicking foot contacted the lower part of the ball.
3. The knee flexion angle while kicking was large.

These results suggest that it may be important to markedly flex the knee during the back swing to increase the ball launching angle, and kick the lower part of the ball when performing side-foot toward high targets.

Keywords

サッカー, インサイドキック, 低い的, 中間の的

Soccer, side-foot kick, low target, middle target

¹ 広島文化学園大学 人間健康学部 (Hiroshimabunkagakuen University, Faculty of Human Health Science)

² 広島県立広島工業高等学校 (Hiroshima Prefectural Hiroshima Technical High School)

³ 呉工業高等専門学校 人文社会系分野 (Kure National College of Technology, Humanity and Social Sciences)

⁴ 福山平成大学 福祉健康学部 (Fukuyama Heisei University, Faculty of Welfare and Health Science)

⁵ 長崎県立佐世保商業高等学校 (Nagasaki Prefectural Sasebo Commercial High School)

1. 研究目的

1. 研究目的

足でボールを扱うサッカーにおいて、キック動作は主要な技術である。キック動作には、インサイドキック、インステップキック、インフロントキック、アウトサイドキックなどがあり、その中でも、足部の内側面をボールに当ててキックするインサイドキックは、一般的に正確性を重視した場面に用いられ、試合中に最も使用頻度が高いと報告されている¹⁾。

これまでインサイドキックに関する研究は数多くなされている。石井・丸山²⁾は、インサイドキックにおけるインパクト動作に着目し、地面と水平方向の足部外転角度とインパクト位置がボールの挙動に及ぼす影響について明らかにした。Levanon and Dapena³⁾は、インサイドキックとインステップキックのキック動作を3次元画像解析によって比較し、蹴り脚関節角度の時間経過に伴う変化を定量的に示し、両キック動作の特徴を明らかにした。布目ほか⁴⁾は、熟練者と未熟練者を対象として、インサイドキックの動作のメカニズムを3次元解析し、熟練者は未熟練者に比べ、合理的に近位セグメントから遠位セグメントへのエネルギーの転移を行っていることを明らかにした。これらの研究によって、インサイドキックの特徴の一端が定量的に示されている。しかしながら、これらの研究はグラウンダー（ゴロ）のキックを対象としており、インサイドキックによるボールを浮かせるキック動作に関しては未だ明らかにされていない点が多い。

そこで、本研究では、房野ほか⁵⁾と同様の方法を用いて、サッカーのインサイドキックにおける、高さを蹴り分ける上での技術的要点を記述することとした。

2. 研究方法

2.1. 被験者

被験者は、中国大学サッカーリーグの上位チー

ムに所属する大学男子サッカー部員14名とした。被験者の年齢、身長、体重、競技歴はそれぞれ 21.0 ± 0.9 歳、 172.0 ± 4.7 cm、 64.0 ± 4.4 kg、 13.8 ± 3.0 年（平均±標準偏差）であり、ポジションはフォワード（FW）4人、ミッドフィルダー（MF）5人、ディフェンス（DF）5人であった。キックしやすい脚を利き脚と定義すると、すべての被験者は右脚が利き脚であった。本研究は当該機関において倫理審査を受け承認を得た。また、被験者には本研究の目的・内容・危険性について口頭で説明し、実験参加の同意を得た。

2.2. 実験環境・手順

的の大きさは60cm×90cm（縦×横）とした。房野ほか⁵⁾では、地面からの的の中心までの高さはLow（0.4m）、High（1.8m）であったが、本研究では、Low（0.4m）、Middle（1.1m）の2段階とし、キック位置からの的までの距離は7mとした（Fig.1）。

被験者には、利き脚のインサイドキックで的を狙って蹴るように指示した。被験者の助走距離は自由としたが、全ての被験者は1～5歩の助走であった。ボールスピードについては、試合でのパスを想定したスピードでキックするよう指示した。被験者はウォーミングアップ後に、それぞれの高さの的を狙う練習を行った後、本試行としてそれぞれの高さの的に5本当たるまで実施した。5本のキックのうち、被験者が主観的に最良と認めた1試行を定め、1試行×2条件×14名、計28試行について分析を行った。

撮影には光学式モーションキャプチャシステム（Vicon 512; Oxford Metrics Inc.）を用いた。同期した赤外線カメラ6台のサンプリング周波数は120fpsとした。また、身体に反射マーカー（直径25mm）を貼付した。マーカー貼付部位は、身体の左右について、第5中足骨遠位端、足関節外果、踵骨、大腿骨外側顆、大転子、上前腸骨棘、上後腸骨棘、及び肩峰とし、さらに石井・丸山⁶⁾にないボール（3点）とした。3次元絶対座標系は、的に向かい、前方をy軸正方向、右方をx軸正方向、

上方をz軸正方向と定義した。取得した3次元位置データは、6-8Hzの4次Butterworthローパスフィルタを用いて平滑化を行った。なお、インパクトのフレーム同定は平滑化前に行った。また、阿江⁷⁾のデータを用いて、足部質量中心を算出した。キック時の軸脚床反力の測定及び的にボールが当たった衝突点の測定にフォースプレート(Kistler 9287A;Kistler)を用い、600Hzで測定した。衝突点は、フォースプレートで測定された圧力中心点とした。分析対象とした時間範囲は、軸足接地(以下、L-onと略す)からボールインパクト(以下、Impと略す)までとした。

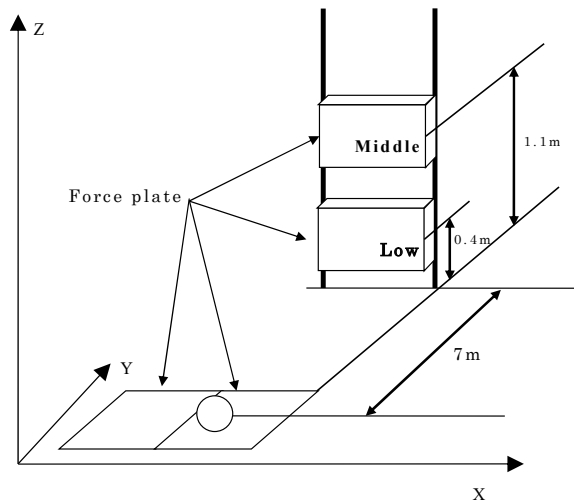


Fig. 1 Pattern diagram of experiment

2.3. 測定項目

測定項目は以下の項目とした (Fig.2)。

1) 動作時間

動作時間は、L-onからImpまでの時間と定義した。下肢関節の動作について、L-onからImpまでの時間を100%として正規化した。

2) ボールの変量

ボール中心の位置座標は、石井・丸山⁶⁾ にならいボール表面上の3点から算出した。ボール初速度は、Imp後5コマのボール中心の平均速度として定義した。ボール投射角は、Imp前のボール中心位置と、Imp5コマ後のボール中心位置を結ぶ直線と、xy平面となす角度と定義した。的に当たった時のボールの高さは、フォースプレートの圧力中心点に基づいて定量した。

3) 蹴り脚の変量

蹴り足スイング速度は、Imp直前の5コマの蹴り脚足部質量中心の平均速度として定義した。蹴り足スイング角度は、Imp5コマ前とImpの蹴り脚踵骨を結んだベクトルと、y軸とのなす角度として定義した (Fig.2h)。蹴り脚股関節角度は、蹴り脚大転子と右肩峰を結んだベクトルと、蹴り脚大転子と蹴り脚大腿骨外側顆を結んだベクトルとのなす角度として定義した (Fig.2b)。蹴り脚股関節角速度は、蹴り脚股関節角度を時間について数値微分することにより算出した。蹴り脚膝関節角度は、蹴り脚大腿骨外側顆と蹴り脚大転子を結んだベクトルと、蹴り脚大腿骨外側顆と蹴り脚外果を結んだベクトルとのなす角度として定義した (Fig.2c)。蹴り脚膝関節角速度は、蹴り脚膝関節角度を時間について数値微分することにより算出した。蹴り脚足関節角度は、Impの足関節外果から蹴り脚大腿骨外側顆へのベクトルと、足関節外果から蹴り脚第5中足骨遠位端へのベクトルのなす角度と定義した (Fig.2a)。蹴り脚足関節角速度

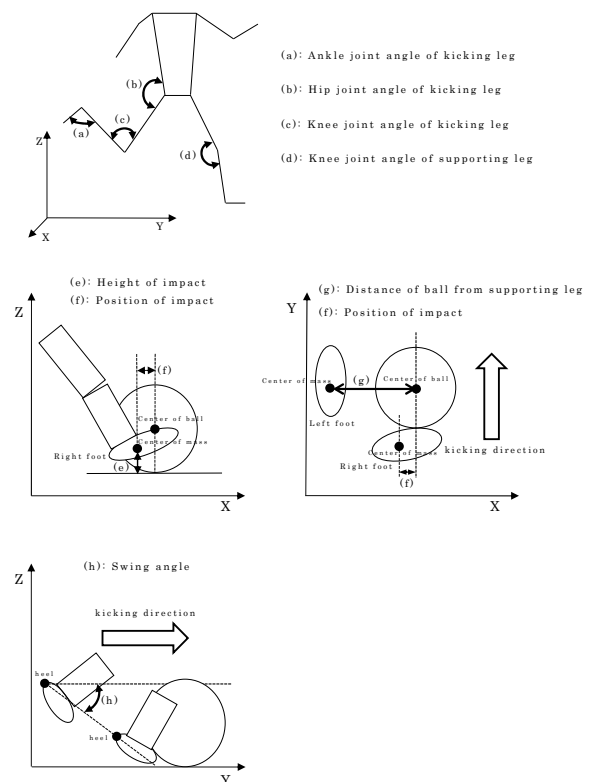


Fig. 2 Definitions of measurement items

は、蹴り脚足関節角度を時間について数値微分することにより算出した。蹴り足インパクト高は、Impの蹴り脚足部質量中心の高さとして定義した (Fig.2e)。蹴り足インパクト位置は、Impの蹴り脚足部質量中心からボール中心までのx軸の距離として定義した (Fig.2f)。

4) 軸脚の変量

軸脚膝関節角度は、Impの軸脚大腿骨外顆から軸脚大転子へのベクトルと、軸脚大腿骨外顆から軸脚足関節外果へのベクトルとのなす角度として定義した (Fig.2d)。軸足からボールまでの距離は、Impの軸脚足部質量中心からボール中心までのx軸における距離として定義した (Fig.2g)。軸脚床反力は、Imp 20コマ前からImpまでの軸脚床反力xyz成分の合力の平均と定義した。

2.4. 統計処理

各変量は平均値 \pm 標準偏差で表した。統計処理には統計解析ソフト (IBM SPSS Statistics20) を用いた。インパクト時の各変量と的の高さの比較には、2条件 (Low, Middle) の対応のあるt検定を行った。また、高低要因 (Low, Middleの2水準) ならびに時間要因 (20水準) とその交互作用の有意差検定には、対応のある二元配置分散分析を用いた。時間要因は、L-onからImpまでの時間を分割して20水準とした。ボール投射角とボール初速度及び的に当たった時のボールの高さの相関係数分析を行った。有意水準はいずれも5%未満とした。

3. 結果

3.1. ボールの変量

的に5本当たるまでの平均的中率は、Lowで64.1% (n=14), Middleで65.6% (n=14)であり、条件間に有意差はみられなかった。的に当たった時の高さについてFig.3に示した。Lowで $352.7 \pm 123.3\text{mm}$ (n=14), Middleで $1084.4 \pm 154.0\text{mm}$ (n=14)あり、条件間に有意差がみられた ($p<.001$)。ボール初速度は、Lowで $21.33 \pm 2.20\text{m/s}$, Middle

で $21.52 \pm 1.95\text{m/s}$ であり有意差はみられなかった。ボール投射角は、Lowで $6.8 \pm 1.2\text{deg}$, Middleで $13.7 \pm 1.8\text{deg}$ であり、条件間に有意差がみられた ($p<.001$)。ボール投射角との相関については的に当たった時のボールの高さに高い相関 ($r=0.912$, $p<.001$) がみられた。また、ボール投射角とボール初速度との相関は ($r=-0.123$) は有意でなかった。

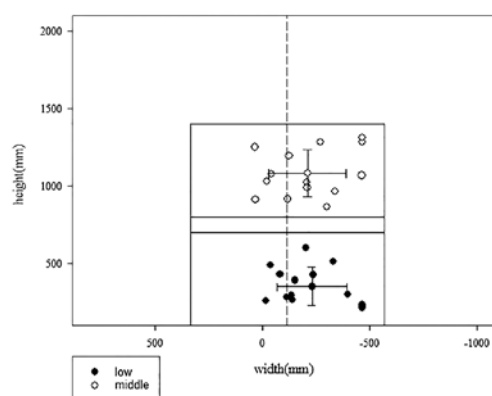


Fig. 3 Distribution of the ball on target

3.2. ボールの高低を説明する要因

ボール高低を説明する要因を検討するため、Imp時点における各変量の条件間の比較についてTable 1に示した。その結果、条件間に有意差がみられたのは、蹴り足インパクト高 ($p<.001$)、蹴り脚膝関節角速度 ($p<.01$)、軸足からボールまでの距離 ($p<.05$)、軸脚床反力 ($p<.05$) の4変量であった。

3.3. 蹴り脚の関節運動

3.3.1. 股関節

蹴り脚股関節角度についてFig.4 (a-1) に示した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果はなかったが、時間の主効果はあった ($p<.001$)。また、交互作用は有意でなかった。Lowでは、L-onの $130.2 \pm 8.2^\circ$ から79%time ($154.6 \pm 6.5^\circ$) まで増加し、その後Impの $151.4 \pm 6.1^\circ$ まで減少した。Middleでは、L-onの $128.4 \pm 6.8^\circ$ から79%time ($152.8 \pm 6.8^\circ$) まで増加し、その後Impの $149.7 \pm 6.1^\circ$ まで減少した。両条件とも、キック動作前半

Table 1 Variables at impact

	Low		Middle		t-test L vs M
	mean	SD	mean	SD	
Initial ball velocity (m/s)	21.33	2.2	21.52	1.95	
Launching angle of ball (deg)	6.8	1.2	13.7	1.8	***
Height on the target (mm)	352.7	123.3	1084.4	154	***
Swing velocity (m/s)	15.66	1.78	16.32	1.48	
Swing angle (deg)	27.0	2.4	26.7	1.9	
Ankle joint angle of kicking leg (deg)	91.9	3.6	93.0	3.7	
Ankle joint angular velocity of kicking leg (deg/s)	76.2	48.9	142.9	90.3	
Height of impact (mm)	74.9	12.2	57.7	11.6	***
Position of impact (mm)	3.8	17.8	7.9	13.5	
Hip joint angle of kicking leg (deg)	151.4	6.1	149.7	6.1	
Hip joint angular velocity of kicking leg (deg/s)	-251.9	96.1	-277.7	112.3	
Knee joint angle of kicking leg (deg)	119.2	18.5	119.5	8.9	
Knee joint angular velocity of kicking leg (deg/s)	1306.3	216.7	1470.2	243	**
Knee joint angle of supporting leg (deg)	125.3	9.1	128.3	8.0	
Distance of ball from supporting leg (mm)	217.9	20.8	229.3	24.3	*
Reaction force of supporting leg (N)	1136.8	136.7	1209.0	121.5	*

***:p<.001; **:p<.01; *:p<.05

から中盤までは股関節角度を大きくしていたが、キック動作終盤ではわずかに小さくなっていた。

蹴り脚股関節角速度についてFig.4 (a-2) に示した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果はなかったが、時間の主効果はあった ($p<.001$)。また、交互作用は有意でなかった。Lowでは、L-onの $176.7 \pm 116.8 \text{deg/s}$ から 37%time ($344.4 \pm 117.7 \text{deg/s}$) まで増加し、その後Impの $-251.9 \pm 96.1 \text{deg/s}$ まで減少した。Middleでは、L-onの $228.8 \pm 129.5 \text{deg/s}$ から 21%time ($358.5 \pm 94.3 \text{deg/s}$) まで増加し、その後Impの $-277.7 \pm 112.3 \text{deg/s}$ まで減少した。

3.3.2. 膝関節

蹴り脚膝関節角度についてFig.4 (b-1) に示した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果 ($p<.001$) と時間の主効果 ($p<.001$) があったが、交互作用は有意でなかった。Lowでは、L-onの $112.8 \pm 16.3^\circ$ から 58%time ($82.9 \pm 17.8^\circ$) まで減少し、その後Impの $119.2 \pm 18.5^\circ$ まで増加した。Middleでは、L-onの $100.3 \pm 12.7^\circ$ から 58%time ($76.3 \pm 9.8^\circ$) まで減少し、その後Impの $119.5 \pm 8.9^\circ$ まで増加した。最大屈曲時のMiddleとLowの角度差

は 6.6° でMiddleの方が屈曲していた。高い的を狙ったキックにおけるバックスイングでは、低い的へのキックよりも膝を大きく屈曲させていた。また、キック動作終盤は急激に伸展を行っていた。

蹴り脚膝関節角速度についてFig.4 (b-2) に示した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果 ($p<.001$) と時間の主効果 ($p<.001$) があったが、交互作用は有意でなかった。Lowでは、L-onの $-613.0 \pm 137.6 \text{deg/s}$ から Impの $1306.3 \pm 216.7 \text{deg/s}$ まで増加した。Middleでは、L-onの $-597.9 \pm 111.5 \text{deg/s}$ から Impの $1470.2 \pm 243.0 \text{deg/s}$ まで増加した。26%timeまでは、ほぼ同じ値を示していたが、その後Middleが大きい値を示し、Impでは、 163.9deg/s 有意に高値であった。高い的を狙ったキックは、膝関節の伸展速度が速くなっていた。

3.3.3. 足関節

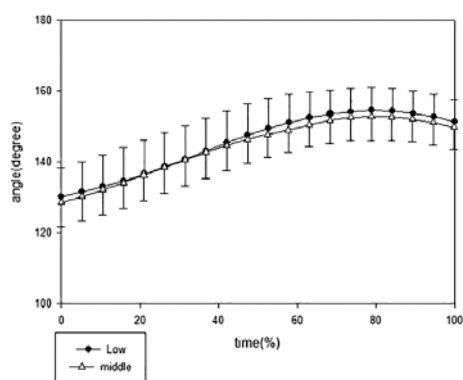
蹴り脚足関節角度についてFig.4 (c-1) に示した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果はなかったが、時間の主効果はあった ($p<.001$)。また、交互作用は有意でなかった。Lowでは、L-onの $105.4 \pm 5.5^\circ$ から Impの $92.0 \pm 3.8^\circ$ まで減少した。Middleでは、L-onの $103.6 \pm 5.9^\circ$ から 74%time

($91.5 \pm 4.6^\circ$) まで減少し、その後Impの $93.3 \pm 3.7^\circ$ まで増加した。

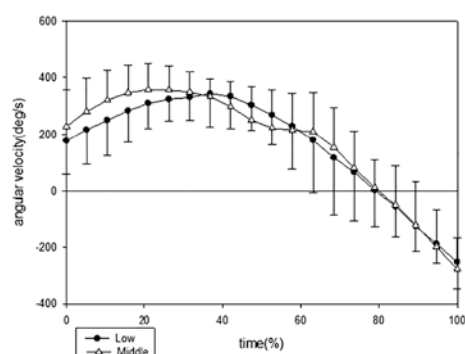
蹴り脚足関節角速度についてFig.4 (c-2) に示

した。分散分析の結果、ボールの高低要因の主効果はなかったが、時間の主効果 ($p < .001$) と交互作用 ($p < .05$) は有意であった。多重比較検定の

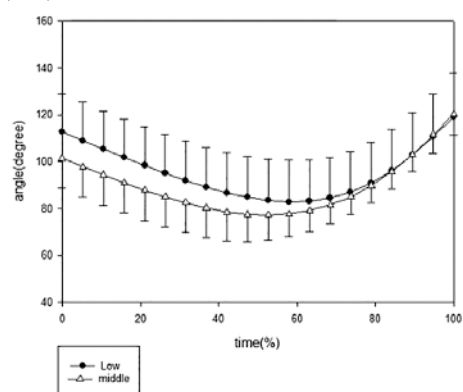
Hip joint angle of kicking leg
Flexion (+) / Extension (-)
(a-1)



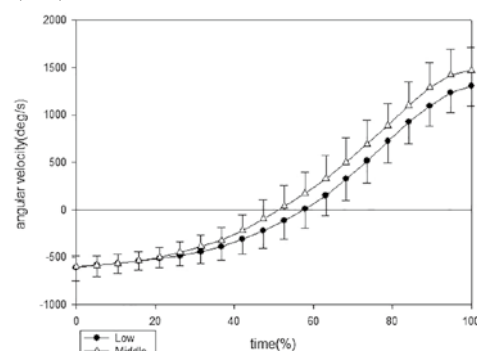
Hip joint angular velocity of kicking leg
Flexion (+) / Extension (-)
(a-2)



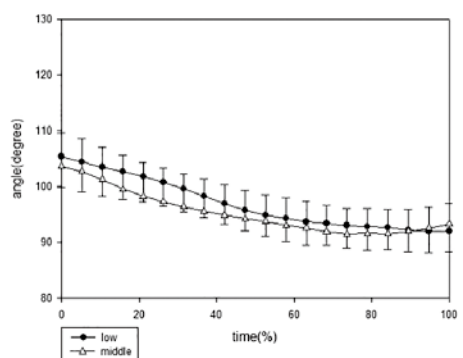
Knee joint angle of kicking leg
Flexion (-) / Extension (+)
(b-1)



Knee joint angular velocity of kicking leg
Flexion (-) / Extension (+)
(b-2)



Ankle joint angle of kicking leg
Flexion (+) / Extension (-)
(c-1)



Ankle joint angular velocity of kicking leg
Flexion (+) / Extension (-)
(c-2)

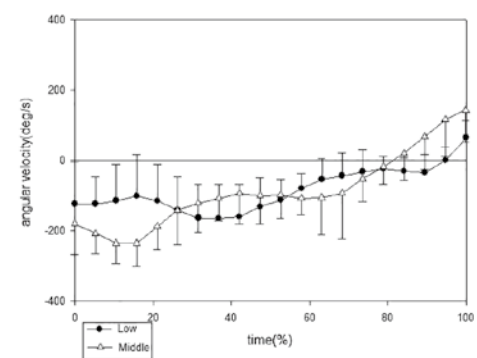


Fig. 4 Average changes of angle and angular velocity (error bar : 1SD)

結果, L-on及びImpでは高低要因は, 有意でなかった。Lowでは, L-onは $-123.3 \pm 120.1 \text{deg/s}$ であり, 37 % timeの $-164.6 \pm 95.7 \text{deg/s}$ からImpの $65.3 \pm 48.9 \text{deg/s}$ まで増加した。Middleでは, L-onは $-180.6 \pm 87.0 \text{deg/s}$ であり, 16 % timeの $-235.5 \pm 64.3 \text{deg/s}$ が最も低い値であった。Impでは $142.9 \pm 90.3 \text{deg/s}$ であった。

4. 考察

4.1. ボールの高さを決定する要因

投射されるボールの軌道及び飛距離は, 空気力を見無視すると, 投射時におけるボール初速度及び投射角, 投射高で決定される⁸⁾。本研究では, ボール初速度は条件間に有意差はみられなかった。ボール投射角については, 的に当たった時のボールの高さと, 高い相関がみられ($r=0.912$), 条件間の比較においても, Low ($6.8 \pm 1.2 \text{deg}$), Middle ($13.7 \pm 1.8 \text{deg}$) の間に有意差がみられた。また, ボールは床に接地しているためボールの投射高はLow, Middleともに 0.11m (ボール半径) である。以上のことから, 本研究の実験条件では, 的に当たった時の高さの違い (Low: $352.7 \pm 123.3 \text{mm}$, Middle: $1084.4 \pm 154.0 \text{mm}$) に影響を及ぼす要因は, ボール投射角のみであり, この結果は房野ほか⁵⁾と同様の結果であった。

4.2. 的高さによるキック動作の違い

Middleでは, 蹴り足インパクト位置の違いはなかったが, 蹴り足インパクト高が低いことが明らかになった。このことから, ボールと直接接する足部をボールの下部に当ててインパクトを行っていることが示唆され, ボール投射角を上げるためであると考えられた。先行研究²⁾において, 足部質量中心から足関節に渡るエリアでインパクトするとボール初速度は大きくなると報告されている。本研究の高い的を狙ったキックは, 足部の先端をボールの下部に当ててインパクトを行うのではなく, 足部質量中心から足関節に渡るエリアをボールの下部に当ててインパクトを行っており,

スイング速度で作り出されたエネルギーを有効にボールに伝えることができていると推察された。また, 軸足からボール中心までの距離 (Fig.2g) がLowに比べMiddleが遠いことが明らかになった。この理由として, 軸足をボールから遠い位置に踏み込むことにより, 足部をボールの下部に当て, ボール投射角を上げるためであると考えられた。

キック動作によって生じるインパクト後のボール初速度は, 様々な要因によって影響を受けることが報告されている⁹⁻¹²⁾。本研究では, Lowに比べMiddleでは, 蹴り脚膝関節が大きく屈曲し (Fig.4 (b-1)), 蹴り脚膝関節の伸展速度が速かった (Fig.4 (b-2))。これらのことから, バックスイングを大きくし, インパクトに向けて速く伸展させていることが示唆された。この理由としては, バックスイングを大きくし, インパクトに向けて速く伸展させることでスイング速度を生み出すためであると考えられた。このことは, インサイドキックにおける足部速度は, 主に膝関節の屈曲/伸展によって生み出されることを明らかにしている先行研究²⁾を支持する結果であった。

以上のことから, 高い的を狙ったキックは, 蹴り足の足部質量中心から足関節に渡るエリアをボールの下部に当ててインパクトを行っていることが示唆され, その理由としては, ボール投射角を上げるためであると考えられた。

4.3. 指導現場への示唆

これまでのインサイドキックの指導ポイントは, 「ボールを見て, 立ち足と蹴り足を直角にし, 蹴り足のつま先を上へあげてキックを行う。」とされている¹³⁾。本研究の結果で明らかになった, 高い的を狙ったインサイドキック動作の特徴を踏まえると, 高い的を狙ったインサイドキックを指導する際には, インサイドキックの指導ポイントだけではなく, 「バックスイングで膝を大きく屈曲させ, ボールの下部をインパクトする。」などを加えることで, より効果的に指導を行うことができる可能性を示している。

5. 結論

本研究の目的は、サッカーのインサイドキックを対象として、高低を蹴り分ける上での技術的要点を記述することであった。大学サッカー部に所属する14名を対象とし、2種類の的の高さについてそれぞれインサイドキックを行い、以下の結果を得た。

高い的（Middle）を狙ったインサイドキック動作の特徴として、以下の3点が挙げられた。

1. ボールの投射角が大きかった。
2. ボールの下部をインパクトしていた。
3. 蹴り足の膝関節屈曲角度が大きかった。

以上の結果から、高い的を狙った際のインサイドキックでは、ボール投射角を大きくするために、バックスイングで膝を大きく屈曲させ、ボールの下部をインパクトすることが重要であることが示唆された。

引用文献

- 1) Yamanaka, K., Liang, D.Y., Hughes, M. (1997) Analysis of the playing patterns of the Japan national team in the 1994 World Cup qualifying match for Asia. In Reilly, T. et al. (Eds.) Science and Football III. E & FN spon : London, pp. 221–228.
- 2) 石井秀幸, 丸山剛生 (2008) インサイドキックにおける足部外転角度とインパクト位置がボール挙動に及ぼす影響. バイオメカニクス研究, 12(1): 9–21.
- 3) Levanon, J., and Dapena, J. (1998) Comparison of the kinematics of the full-instep and pass kicks in soccer. Medicine and Science in Sports and Exercise, 30: 917–927.
- 4) 布目寛幸, 佐藤靖丈, 片山敬章, 宮城修, 山下則之 (1998) インステップキック・インサイドキックの三次元動作解析. サッカー医・科学研究, 18:41–45.
- 5) 房野真也, 磨井祥夫, 大塚道太, 塩川満久, 丸山啓史, 森木吾郎, 白石智也 (2020) サッカーのインサイドキックにおける高低の蹴り分けに関する運動学的研究. 運動とスポーツの科学, 26(1) 69–76.
- 6) 石井秀幸, 丸山剛生 (2007) インサイドキックにおけるインパクト中のボール変形量と衝撃力の解析. スポーツ産業学研究, 17(2): 13–23.
- 7) 阿江通良 (1996) 日本人の幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Science, 15: 155–162.
- 8) 前田正登 (2012) 野球選手の投球における投射角度の違いがボール初速度に及ぼす影響. 身体行動研究, 1: 1–11.
- 9) 戸刈晴彦, 浅見俊雄, 菊池武道 (1971) サッカーのキネオロジー的研究 (1). 体育学研究, 16(5): 259–264.
- 10) Isokawa, M., and Lees, A. (1988) A biomechanical analysis of the instep kick motion in soccer. In Reilly, T. et al. (Eds.) Science and Football. E & FN spon : London, pp.449–455.
- 11) Barfield, W. R. (1995) Effects of selected kinematic and kinetic variables on instep kicking with dominant and non-dominant limbs. Journal of Human Movement Study, 29: 251–272.
- 12) 石井秀幸, 磯川正教, 丸山剛生 (2007) インステップキックにおけるインパクト位置がボール速度に及ぼす影響とインパクト中の衝撃力の解析. バイオメカニクス研究, 11(3): 170–182.
- 13) 朽堀申二監 (2011) 図解中学体育. 廣済堂あかつき株式会社: 東京, p.138